

RELACIÓN ENTRE EL MATERIAL PARTICULADO (PM₁₀), LOS PARÁMETROS METEOROLÓGICOS Y LA CONCENTRACIÓN DE ESPORAS FÚNGICAS EN LA ATMÓSFERA DE LA PLAZA SAN MARTÍN DE LIMA

RELATIONSHIP BETWEEN PARTICULATE MATTER (PM₁₀), METEOROLOGICAL PARAMETERS, AND THE CONCENTRATION OF FUNGAL SPORES IN THE ATMOSPHERE OF SAN MARTÍN SQUARE IN LIMA

Roberto Ramos¹

Resumen

Se estudió la relación que existe entre la concentración de material particulado con diámetro aerodinámico $\leq 10 \mu\text{m}$ (PM₁₀), las variables meteorológicas (temperatura del aire, humedad relativa, índice UV y velocidad del viento) y la concentración de esporas fúngicas totales en el aire exterior de la Plaza San Martín de Lima. El muestreo de esporas fúngicas se realizó utilizando un equipo de impacto volumétrico tipo Andersen de una sola etapa; los valores de PM₁₀ fueron proporcionados por la Estación Móvil de La Colmena (PROTRANSPORTE – Municipalidad de Lima). Los resultados muestran que las concentraciones de PM₁₀ fueron las más altas en los meses de marzo y abril, que coinciden con las mayores concentraciones de esporas totales, y disminuyeron continuamente hasta un mínimo en los meses de junio y julio. La concentración de PM₁₀ mostró una fuerte correlación positiva con la concentración de esporas totales. Respecto a la influencia de las variables meteorológicas sobre la concentración de PM₁₀, se encontró que existe una correlación positiva no significativa con la velocidad del viento ($r = 0.727$). La temperatura del aire y el índice UV presentaron una correlación positiva con un nivel de significancia $p < 0.001$. Con relación a la humedad relativa (HR), PM₁₀ presentó una correlación negativa con un nivel de significancia $p < 0.05$. Se requieren más estudios para evaluar las concentraciones de PM₁₀ en relación con las concentraciones de esporas fúngicas en la atmósfera de la Plaza San Martín.

Palabras clave: material particulado, PM₁₀, bioaerosol, esporas, hongos, variables meteorológicas.

Abstract

The relationship between the concentration of particulate matter with aerodynamic diameter $\leq 10 \mu\text{m}$ (PM₁₀), meteorological variables (air temperature, relative humidity, UV index, and wind speed), and the concentration of total fungal spores in the outdoor air of Plaza San Martin in Lima was studied. The sampling of fungal spores was performed using a single-stage Andersen-type volumetric impact equipment; PM₁₀ values were provided by the Mobile Station of La Colmena (PROTRANSPORTE – Municipality of Lima). The results show that the concentrations of PM₁₀ were highest in the months of March and April, which coincide with the highest concentrations of total spores, and continuously decreased to a minimum in the months of June and July. PM₁₀ concentration showed a strong positive correlation with total spore concentration. Regarding the influence of meteorological variables on the concentration of PM₁₀, a non-significant positive correlation was found with wind speed ($r = 0.727$). Air temperature and UV index presented a positive correlation with a significance level $p < 0.001$. Concerning relative humidity (RH), PM₁₀ presented a negative correlation with a significance level $p < 0.05$. Further studies are required to evaluate the concentrations of PM₁₀ in relation to the concentrations of fungal spores in the atmosphere of San Martin Square.

Key words: particulate matter, PM₁₀, bioaerosol, spores, fungi, meteorological variables.

Introducción

El aire atmosférico se compone no sólo de gases, sino también de material particulado (PM) y bioaerosoles (Haas *et al.*, 2013). El PM está formado de partículas sólidas y gotitas líquidas que contienen ácidos, químicos orgánicos, metales, tierra o polvo (Kumar *et al.*, 2021); el humo negro del escape de los vehículos, remolinos de polvo recogido por el viento, la ceniza y el hollín proveniente de una fogata, son ejemplos de PM (Gupta *et al.*, 2020). Cuando el PM

tiene un diámetro aerodinámico $\leq 10 \mu\text{m}$ se le denomina PM₁₀ (PM_{2,5-10}), esta fracción de partícula generalmente contienen materiales cristalinos y polvo provenientes de carreteras y obras de construcción. Existe una estrecha relación entre las exposiciones altas a PM₁₀ y el aumento de la mortalidad, incluso a concentraciones muy bajas. Entre los diversos peligros del PM₁₀ es que son responsables de diversas alergias y de la propagación de enfermedades respiratorias, cardiopatía isquémica, accidentes cerebro vasculares,

cáncer de pulmón y también existe estudios que mencionan a la diabetes y enfermedades neuro degenerativas (WHO, 2021). Si bien las propiedades físicas y químicas de PM₁₀ se han estudiado ampliamente, se sabe mucho menos sobre la relación que existe entre éstos y las concentraciones de hongos en el aire exterior, además, se ha observado que su abundancia relativa coincide con el aumento de las concentraciones de PM₁₀ (Cao *et al.*, 2014). Por lo general, PM₁₀ se mide como la concentración de la masa del material particulado en microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (Kirešová & Guzan, 2022).

Los bioaerosoles son partículas de origen biológico suspendidos en el aire con un diámetro aerodinámico comprendido entre 0.5 y 100 μm e incluyen bacterias, hongos, virus, polen, etc. (Ghosh *et al.*, 2015). El 80% de los microorganismos transportados por el aire pueden estar adheridos a PM₁₀ en suspensión (Seedorf & Hartung, 2002, citado por Haas *et al.*, 2013).

El PM y los microorganismos en el aire atmosférico interactúan continuamente y sus concentraciones parecen depender del tamaño de las partículas. Las partículas con un diámetro aerodinámico superior a 5 μm muestran concentraciones de microorganismos significativamente mayores que las más pequeñas (Haas *et al.*, 2013) y de acuerdo a Bardtke *et al.*, (1977) el 95% de las partículas más pequeñas están libres de microorganismos. Los estudios sobre las concentraciones de hongos en el aire exterior son abundantes, mientras que las comparaciones entre los hongos en el aire y las concentraciones de PM₁₀ son escasos (Boreson *et al.*, 2004).

Estudios previos reportaron que PM₁₀ podría unirse con las esporas de hongos (Glikson *et al.*, 1995) alterando su morfología. La presencia de PM₁₀ en la superficie de las partículas de bioaerosol puede cambiar el patrón de dispersión de los bioaerosoles en el aire al alterar las propiedades aerodinámicas de las partículas (Adhikari *et al.*, 2006). La temperatura y la HR puede afectar la concentración del PM₁₀. Así, Gulshan *et al.* (2021) encontraron que la HR del ambiente podría disminuir la concentración del material particulado. En resumen, los bioaerosoles pueden contribuir al PM₁₀ y diferentes componentes de PM₁₀ pueden influir en la generación y dispersión de bioaerosoles; los bioaerosoles y los PM₁₀ están asociados con efectos comunes en la salud respiratoria; y éstos están influenciados por la temperatura y la humedad relativa (Adhikari *et al.*, 2006). El objetivo de este estudio fue examinar la correlación entre PM₁₀, los parámetros meteorológicos y la concentración de esporas fúngicas totales cultivables transportados por el aire en la atmósfera de la Plaza San Martín de Lima.

Materiales y métodos

Área de estudio.

La Plaza San Martín de Lima, área de estudio, se encuentra en la jurisdicción de Lima Metropolitana. Su

clima es de tipo desértico subtropical, la temperatura ambiental oscila entre 13 °C en invierno, y 28 °C en verano, la humedad relativa varía entre 80 y 100% durante todo el año. La dirección predominante del viento es de sur-suroeste (Sánchez-Ccoyllo *et al.*, 2015). La Plaza San Martín se encuentra ubicada en el centro histórico de la ciudad de Lima, centro de desarrollo socioeconómico que concentra la tercera parte de la población nacional. El parque automotor de la ciudad de Lima, es una de las fuentes principales de emisiones de material particulado que afectan a las personas que viven en la capital. En general, la zona tiene considerables fuentes de contaminantes atmosféricos biológicos y no biológicos.

Muestreo del aire ambiental

MUESTREO DE BIOAEROSOLES FÚNGICOS INHALABLES

Los muestreos se realizaron una vez por mes, de marzo a setiembre de 2014 entre las 10 am y 11 am y se realizaron por el método de impacto utilizando un equipo volumétrico en cascada tipo Andersen (Andersen, 1958). El muestreo duró 5 minutos por vez y fue ejecutado a 1.5 m de altura, procedimiento que fue realizado por duplicado de manera secuencial. El flujo de aire aspirado fue de 28.3 l/min y la concentración de los propágulos en el aire fue expresada en UFC/m³. Para el cálculo de colonias cultivables como unidades formadoras de colonias en el aire (UFC/m³) se procedió de acuerdo a Ramos & Meza (2017).

MUESTREO DEL MATERIAL PARTICULADO (PM₁₀)

La concentración del material particulado respirable con un diámetro aerodinámico menor de 10 μm (PM₁₀) fueron proporcionadas por la Estación Móvil de La Colmena (PROTRANSPORTE – Municipalidad de Lima). Sólo se incluyeron en este estudio los mismos períodos de tiempo para los que se disponía datos de bioaerosoles fúngicos.

Cultivo e identificación de hongos

Las placas Petri con agar Sabouraud se incubaron durante 5 días a 25 °C. Las colonias de hongos fueron identificadas hasta género por observación macroscópica y microscópica de las hifas y formas de reproducción asexual, empleando la técnica de la cinta adhesiva para su reconocimiento hasta género. Las colonias que presentaron dificultades para su identificación se cultivaron en cámara húmeda para su posterior descripción (Barnett & Hunter, 1998).

Monitoreo de las variables meteorológicas

La información meteorológica fue proporcionada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). Se midieron las variables meteorológicas como temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del viento e índice UV. Las variables meteorológicas medidas corresponden al momento en que se realizó el estudio.

Tabla 1. Concentración de PM₁₀, esporas totales y variables meteorológicas en la Plaza San Martín de Lima.

	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre
PM ₁₀ (µg/m ³)	72.8	82.8	41.2	23.6	26.5	16.6	23.9
Esporas totales (UFC/m ³)	2 340.0	1 776.0	1 575.0	1 373.0	583.0	1 124.0	1 838.0
Temperatura (°C)	25.7	21.9	21.2	17.4	15.9	15.8	16.3
Humedad relativa (%)	54.0	73.0	74.0	80	90.0	89.0	83.0
Velocidad del viento (m/s)	1.8	1.9	1.6	1.2	0.6	1.1	1.6
Índice UV	11.1	8.0	3.0	2.0	2.0	3.0	3.0

Análisis estadístico de los datos

La homogeneidad de varianzas entre PM₁₀, la distribución mensual de las esporas totales y las variables meteorológicas fue analizada por el test de Shapiro-Wilk (Shapiro & Wilk, 1965), esta prueba no paramétrica permitirá conocer si las variables siguen una distribución normal. El análisis de las diferencias significativas entre la concentración mensual de PM₁₀ (µg/m³) fue seguido por la prueba de Tuckey ($p < 0.05$). Para conocer las correlaciones entre los parámetros, se realizó el test de Pearson entre PM₁₀, las esporas fúngicas totales y las variables meteorológicas. El test de correlación de Pearson fue estudiado con niveles de significancia de 0.05 y 0.01 (bilateral) usando el software estadístico SPSS, versión 26.

Resultados y discusión

El presente estudio, por primera vez, determinó la relación que existe entre la concentración de PM₁₀, los parámetros meteorológicos y las concentraciones de esporas de hongos totales en la atmósfera de la Plaza San Martín de Lima.

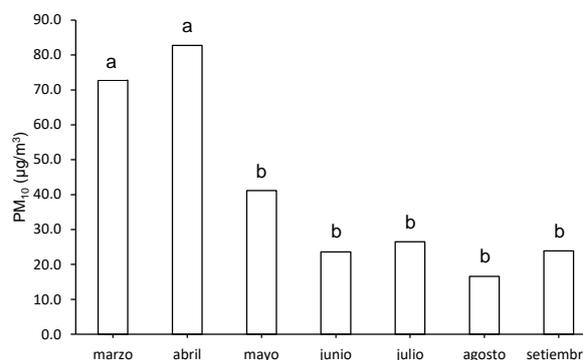
Se hallaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre la concentración de PM₁₀ y los meses del año (Figura 1). Las concentraciones más altas del material particulado ocurrieron en los meses de marzo (72.72 µg/m³) y abril (82.75 µg/m³) mostrando diferencias significativas con el resto de los meses: mayo, junio, julio, agosto y setiembre.

Un resumen de la concentración del PM₁₀, concentración de esporas fúngicas totales y las variables meteorológicas se observa en la Tabla 1.

La diversidad y distribución de los hongos aislados en la atmósfera de la Plaza San Martín de Lima ha sido ampliamente discutido en una publicación anterior (Ramos & Meza, 2017).

Respecto al material particulado, los valores más altos de PM₁₀ en el aire exterior de la Plaza San Martín se alcanzaron en los meses de marzo y abril lo que coincide con las concentraciones más altas de esporas totales (Figura 2, Tabla 1). El análisis de correlación de Pearson confirma este resultado, en donde, la concentración de PM₁₀ mostró una fuerte correlación positiva con la concentración de esporas totales ($r = 0.643$), es decir, la concentración de esporas fúngicas aumentó con un incremento en la concentración del

material particulado PM₁₀; aunque no hubo significancia ($p > 0.05$) (Tabla 2).



* Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Figura 1. Concentración mensual de material particulado PM₁₀ (µg/m³). Las letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas entre los meses a $p < 0.05$.

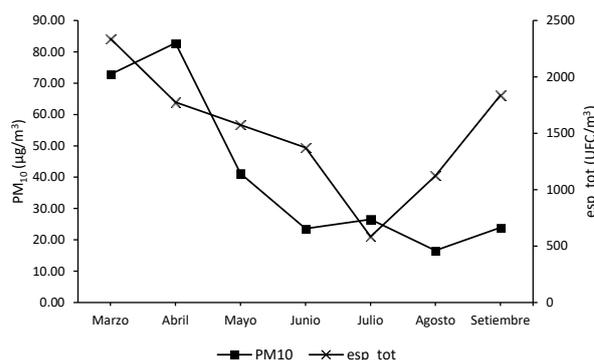


Figura 2. Concentración de material particulado PM₁₀ versus esporas totales (UFC/m³).

Estos resultados coinciden con Raisi *et al.* (2013) quienes encontraron que la concentración de esporas de hongos en el aire mostró una correlación estadística significativa con las concentraciones de PM₁₀, observaron que la concentración de la fracción fúngica transportados por el aire se incrementó con el aumento de la concentración de PM₁₀. Adhikari *et al.* (2006), utilizando un análisis de correlación no paramétrica de Spearman, encontraron también una correlación positiva entre los hongos inhalables frente a PM₁₀. Boreson *et al.* (2004) hallaron un aumento de la carga biológica (en términos de carga de proteína) a altas concentraciones de PM₁₀. Zhang *et al.* (2022) también observaron que el PM₁₀ tuvo una alta correlación positiva significativa ($p < 0.01$) con la concentración del bioaerosol fúngico. Zhai *et al.* (2018) confirman estos resultados al asegurar que los microorganismos del aire coexisten unidos a PM₁₀, mientras que pocos permanecen individualmente. Adhikari *et al.* (2006) concluyen, a partir de las correlaciones significativas de los patrones de concentración, que la interacción entre las esporas fúngicas y PM₁₀ es posible y debería investigarse más a fondo.

Respecto a la influencia de las variables meteorológicas sobre la concentración de PM₁₀ (Figura 3) se ha encontrado que existe una fuerte correlación positiva con la velocidad del viento ($r = 0.727$) (Tabla 2, Figura 3d), aunque no hubo significancia para esta variable climática. La temperatura del aire y el índice UV (Figura 3a y 3b, Tabla 2) presentaron una alta correlación significativa positiva ($p < 0.01$) con la concentración de PM₁₀. Con relación a la HR, PM₁₀ presentó una alta correlación significativa negativa ($p < 0.05$) (Figura 2c, Tabla 2). Estos resultados coinciden con Ediagbonya *et al.* (2013) quienes encontraron una correlación positiva entre la concentración de PM₁₀ y la velocidad del viento, esta variable climática es la que determina el tiempo de viaje de los contaminantes desde las fuentes hasta el receptor. Según Hosler (1961), la persistencia de velocidades de viento inferiores a 3,1m/s suele favorecer la acumulación de contaminantes atmosféricos. Ediagbonya *et al.* (2013), también hallaron una fuerte correlación positiva ($r = 0.707$) con la temperatura, es decir, una mayor temperatura aumenta la reactividad de los constituyentes gaseosos en el aire atmosférico, lo que da lugar a una mayor producción de material

particulado (Elminir, 2005; González-Duque *et al.*, 2015). En relación a la HR, hallaron una fuerte correlación negativa ($r = -0.686$), al respecto, el material particulado es higroscópico por naturaleza, a medida que aumenta la humedad relativa, las partículas disminuyen, por lo tanto, cuanto mayor sea la HR, menor será la cantidad de partículas en la atmósfera, debido a que el material particulado aumenta su velocidad de sedimentación y deposición.

Esta situación también se compara con lo observado por Kliengchuay *et al.* (2018), ellos encontraron, utilizando un análisis de correlación de Spearman, una fuerte correlación positiva con la temperatura, lo que indica el importante papel que desempeña la temperatura en el material particulado, también obtuvieron una correlación negativa con HR, lo que sugiere que una HR alta permite la eliminación de PM₁₀ haciendo que las partículas PM₁₀ se depositen al nivel del suelo (Kayes *et al.*, 2019). Jayamurugan *et al.* (2013) y Zhang *et al.* (2022) también han encontrado correlaciones similares entre la HR y las concentraciones de PM₁₀.

Los parámetros meteorológicos desempeñan un rol importante en la determinación de la prevalencia de PM₁₀ y ejercen un papel crucial en la calidad del aire respirable de los entornos urbanos y rurales (Sirithian & Thanatrakolsri, 2022).

En este estudio se demostró que PM₁₀ ocurrió en altas concentraciones en la atmósfera de la Plaza San Martín de Lima cuando la temperatura fue alta (25.7 °C) (Figura 3a) y la HR fue baja (54%) (Figura 3c). De este modo, la concentración de PM₁₀ fueron más altos durante los meses de marzo y abril; meses en que la temperatura fue más alta, esto implica que especialmente en invierno (julio y agosto) el PM₁₀ fue menos abundante (Figura 2). Estos resultados concuerdan con Adhikari *et al.* (2006), quienes encontraron que los niveles de concentración de PM₁₀ fueron más altos en los meses de verano y otoño, similar a los hongos. Kliengchuay *et al.* (2021), utilizando la prueba de comparación múltiple de Bonferroni, observaron la mayor concentración de PM₁₀ en el verano. Según el estudio, la concentración media de PM₁₀ fue significativamente mayor durante el verano que durante las estaciones de invierno y de lluvias en un año. Haas *et al.* (2013) mencionan que son las plantas industriales, calefacción doméstica y tráfico

Tabla 2. Correlación entre la concentración de PM₁₀ con la concentración de esporas totales y las variables meteorológicas.

	Concentración de esporas (UFC/m ³)	Velocidad del viento (m/s)	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%HR)	Índice UV
PM ₁₀	$r = 0.643$ ($p = 0.119$)	$r = 0.727$ ($p = 0.064$)	$r = 0.881^{**}$ ($p = 0.009$)	$r = 0.789^*$ ($p = 0.035$)	$r = 0.891^{**}$ ($p = 0.007$)

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$.

automotor como el origen de la carga del material particulado respirable PM₁₀. Köck *et al.* (1998) reportó que, en áreas de alto tráfico la concentración de esporas fúngicas en el aire fueron muchos más altas que en áreas verdes. Neuberger *et al.* (2004) y Ibald-Mulli *et al.* (2002) encontraron que las finas partículas tienen efecto negativo en las vías respiratorias de los humanos.

Conclusiones

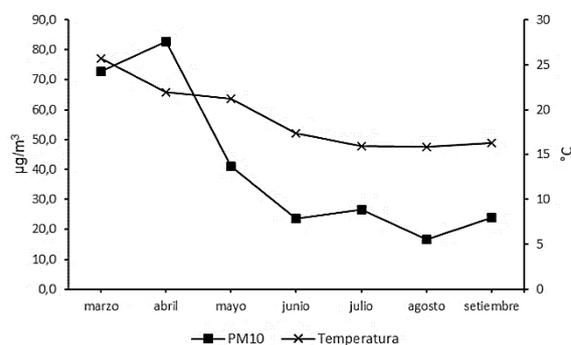
Se estudió la relación que existe entre PM₁₀, las variables meteorológicas y la concentración de esporas fúngicas totales.

La presencia de PM₁₀ en el aire atmosférico de la Plaza San Martín de Lima se ve influenciada por las temperaturas del aire altas y baja HR del aire y, por lo tanto, se presenta en concentraciones más altas durante los meses de marzo y abril en el periodo del presente estudio. La velocidad del viento e índice UV mostraron el mismo comportamiento que la temperatura del aire, es decir, a mayor valor mayor concentración de PM₁₀.

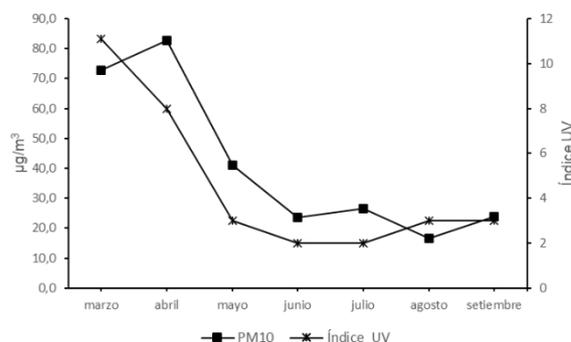
Las concentraciones de esporas fúngicas totales se correlacionaron positivamente con la concentración del PM₁₀, especialmente cuando predominaron altas temperaturas del aire y baja HR. Se puede afirmar que las concentraciones de PM₁₀ en el aire aumentan junto con el incremento de las concentraciones de las esporas fúngicas totales. Se podría concluir que el bioaerosol fúngico se transporta por la atmósfera como parte del material particulado por lo que deben ser considerados a la hora de evaluar la calidad del aire.

Agradecimientos

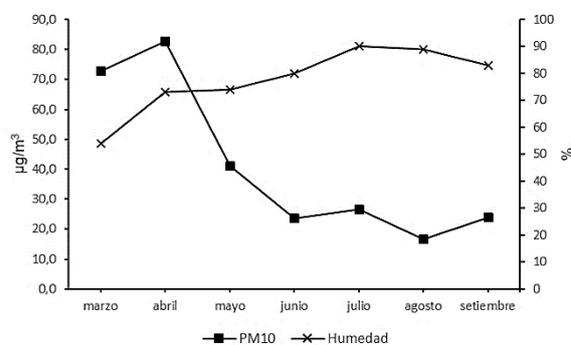
A la Municipalidad Metropolitana de Lima e Instituto Metropolitano Protransporte de Lima (PROTRANSPORTE); Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) y un agradecimiento especial al Laboratorio de Ecología de Artrópodos (LEA) de la UNALM.



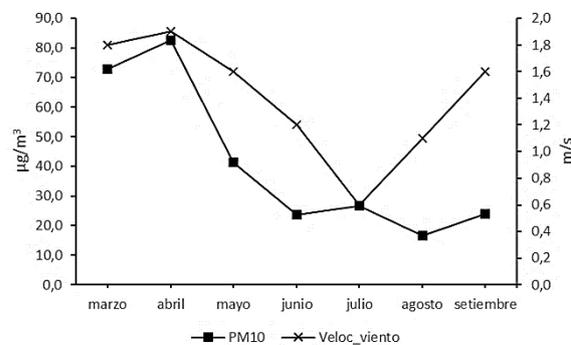
a) Relación entre el PM₁₀ y la temperatura.



b) Relación entre el PM₁₀ y el índice UV.



c) Relación entre el PM₁₀ y la humedad.



d) Relación entre el PM₁₀ y la velocidad del viento.

Figura 3. Relación entre la concentración de PM₁₀ (µg/m³) y las variables meteorológicas.

Literatura citada

- Adhikari A., Reponen T., Grinshpun S., Martuzevicius D. & LeMasters G. 2006. Correlation of ambient inhalable bioaerosols with particulate matter and ozone: A two-year study. *Environmental Pollution*, 140(1): 16–28. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2005.07.004>.
- Andersen A. 1958. New sampler for the collection, sizing and enumeration of viable airborne particles. *Journal of Bacteriology*, 76(5): 471–484. <https://doi.org/10.1128/jb.76.5.471-484.1958>.
- Bardtke D., Baader W., Tietjen C. & Strauch D. 1977. Abfälle aus der Tierhaltung-Anfall, Umweltbelastung, Behandlung, Verwertung. Ulmer Verlag, Stuttgart. https://www.openagrar.de/receive/timport_mods_00008616.
- Barnett H. & Hunter B. 1998. Illustrated genera of Imperfect Fungi. 4th Ed. APS Press, Saint Paul, Minnesota.
- Boreson J., Dillner A. M. & Peccia J. 2004. Correlating bioaerosol load with PM_{2.5} and PM₁₀ concentrations: A comparison between natural desert and urban-fringe aerosols. *Atmospheric Environment*, 38(35): 6029–6041. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.06.040>.
- Cao C., Jiang W., Wang B., Fang J., Lang J., Tian G., Jiang J. & Zhu T.F. 2014. Inhalable Microorganisms in Beijing's PM_{2.5} and PM₁₀ Pollutants during a Severe Smog Event. *Environmental Science & Technology*, 48(3): 1499–1507. <https://doi.org/10.1021/es4048472>.
- Ediagbonya T., Ukpabor E. & Okieimen F. 2013. The Influence of Meteorological Parameters on Respirable and Inhalable Particle During Wet Season. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 17(4): 441–448. <https://www.bioline.org.br/abstract?id=ja13050&lang=en>.
- Elminir H.K. 2005. Dependence of urban air pollutants on meteorology. *Science of the Total Environment*, 350(1–3): 225–237. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.01.043>.
- Ghosh B., Lal H. & Srivastava A. 2015. Review of bioaerosols in indoor environment with special reference to sampling, analysis and control mechanisms. *Environment International*, 85: 254–272. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.09.018>.
- Glikson M., Rutherford S., Simpson R. W., Mitchell C. A. & Yago A. 1995. Microscopic and submicron components of atmospheric particulate matter during high asthma periods in Brisbane, Queensland, Australia. *Atmospheric Environment*, 29(4): 549–562. [https://doi.org/10.1016/1352-2310\(94\)00278-S](https://doi.org/10.1016/1352-2310(94)00278-S).
- González-Duque C.M., Cortés-Araujo J. & Aristizábal-Zuluaga B.H. 2015. Influence of meteorology and source variation on airborne PM₁₀ levels in a high relief tropical Andean city. *Revista Facultad de Ingeniería*, (74): 200–212. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/18616>.
- Gulshan J.E., Hossain S.A., Hossain M.E., Islam M.M., Emon S.Z., Manzum A.A., Jashim Z.B. & Huda M.N. 2021. Seasonal variations of microbes in particulate matter obtained from Dhaka City in Bangladesh. *Environmental Pollutants and Bioavailability*, 33(1): 122–134. <https://doi.org/10.1080/26395940.2021.1940302>.
- Gupta A., Moniruzzaman M., Hande A., Roustia I., Olafsson H. & Mondal K. K. 2020. Estimation of particulate matter (PM_{2.5}, PM₁₀) concentration and its variation over urban sites in Bangladesh. *SN Applied Sciences*, 2(12): 1993. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03829-1>.
- Haas D., Galler H., Luxner J., Zarfel G., Buzina W., Friedl H., Marth E., Habib J. & Reinthaler F.F. 2013. The concentrations of culturable microorganisms in relation to particulate matter in urban air. *Atmospheric Environment*, 65: 215–222. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.10.031>.
- Hosler C.R. 1961. Low-level inversion frequency in the contiguous United States. *Monthly Weather Review*, 89(9): 319–339. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1961\)089<0319:LIFITC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1961)089<0319:LIFITC>2.0.CO;2).
- Ibald-Mulli A., Wichmann H.E., Kreyling W. & Peters A. 2002. Epidemiological evidence on health effects of ultrafine particles. *Journal of Aerosol Medicine*, 15(2): 189–201. <https://doi.org/10.1089/089426802320282310>.
- Jayamurugan R., Kumaravel B., Palanivelraja S. & Chockalingam M. P. 2013. Influence of Temperature, Relative Humidity and Seasonal Variability on Ambient Air Quality in a Coastal Urban Area. *International Journal of Atmospheric Sciences*, 2013: Article ID 264046. <https://doi.org/10.1155/2013/264046>.
- Kayes I., Shahriar S.A., Hasan K., Akhter M., Kabir M.M. & Salam M.A. 2019. The relationships between meteorological parameters and air pollutants in an urban environment. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 5(3): 265–278. <https://doi.org/10.22034/gjesm.2019.03.01>.
- Kirešová S. & Guzan M. 2022. Determining the Correlation between Particulate Matter PM₁₀ and Meteorological Factors. *Eng*, 3(3): 343–363. <https://doi.org/10.3390/eng3030025>.
- Kliengchuay W., Meeyai A.C., Worakhunpiset S. & Tantrakarnapa K. 2018. Relationships between meteorological parameters and particulate matter in Mae Hong Son province, Thailand. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(12): 2801. <https://doi.org/10.3390/ijerph15122801>.
- Kliengchuay W., Srimanus R., Srimanus W., Niampradit S., Preecha N., Mingkhwan R., Worakhunpiset S., Limpanont Y., Moonsri K. & Tantrakarnapa K. 2021. Particulate matter (PM₁₀) prediction based on multiple linear regression: a case study in Chiang Rai Province, Thailand. *BMC Public Health*, 21(1): Art. 2149. <https://doi.org/10.1186/s12889-021-12217-2>.
- Köck M., Schlacher R., Pichler-Semmelrock F.P., Reinthaler F.F., Eibel U., Marth E. & Friedl H. 1998. Airborne microorganisms in the metropolitan area of Graz, Austria. *Central European Journal of Public Health*, 6(1): 25–28.
- Kumar P., Hama S., Nogueira T., Abbass R.A., Brand V.S., Andrade M. de F., Asfaw A., Aziz K.H., Cao S.J., El-Gendy A., Islam S., Jeba F., Khare M., Mamuya S.H., Martinez J., Meng M.R., Morawska L., Muula A.S., Shiva Nagendra S.M., Ngowi A.V., Omer K., Olaya Y., Osano P. & Salam A. 2021. In-car particulate matter exposure across ten global cities. *Science of The Total Environment*, 750: 141395. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141395>.

- Neuberger M., Schimek M.G., Horak Jr. F., Moshhammer H., Kundi M., Frischer Th., Gomiscek B., Puxbaum H., Hauk H. & AUPHEP-Team. 2004. Acute effects of particulate matter on respiratory diseases, symptoms and functions: epidemiological results of the Austrian Project on Health Effects of Particulate Matter (AUPHEP). *Atmospheric Environment*, 38(24): 3971-3981. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2003.12.044>.
- Raisi L., Aleksandropoulou V., Lazaridis M. & Katsivela E. 2013. Size distribution of viable, cultivable, airborne microbes and their relationship to particulate matter concentrations and meteorological conditions in a Mediterranean site. *Aerobiologia*, 29(2): 233-248. <https://doi.org/10.1007/s10453-012-9276-9>.
- Ramos R. & Meza V. 2017. Efectos de algunos factores meteorológicos sobre la concentración de esporas de hongos en la Plaza San Martín de Lima. *Ecología Aplicada*, 16(2): 143-149. <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v16i2.1018>.
- Sánchez-Ccoyllo O., Ordoñez-Aquino C., Aliaga-Martínez R. & Rojas-Quincho J. 2015. Evaluación de la Calidad del Aire en Lima Metropolitana, 2014. Lima: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01403SENA-6.pdf>.
- Shapiro S.S. & Wilk M.B. 1965. An analysis of variance test for normality (Complete Samples). *Biometrika*, 52(3-4): 591-611. <https://doi.org/10.2307/2333709>.
- Sirithian D. & Thanatrakolsri P. 2022. Relationships between Meteorological and Particulate Matter Concentrations (PM_{2.5} and PM₁₀) during the Haze Period in Urban and Rural Areas, Northern Thailand. *Air, Soil and Water Research*, 15(1): 1-15. <https://doi.org/10.1177/11786221221117264>.
- WHO. 2021. World Health Organization: Ambient (outdoor) air pollution. Accessed 13st May 2022 from: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health).
- Zhai Y., Li X., Wang T., Wang B., Li C. & Zeng G. 2018. A review on airborne microorganisms in particulate matters: Composition, characteristics and influence factors. *Environment International*, 113: 74-90. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.01.007>.
- Zhang L., Liu T., Zhang J., Zhu B., Xiang D., Zhao X. & Liu X. 2022. Bioaerosol Seasonal Variation and Contribution to Airborne Particulate Matter in Huangshi City of Central China. *Atmosphere*, 13(6): 909. <https://doi.org/10.3390/atmos13060909>.

¹ Universidad Agraria La Molina \ Facultad de Ciencias \ Departamento de Biología. ORCID: 0000-0002-1713-9004. roberto@lamolina.edu.pe.